



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

CERMETY
CERMETS

BAKALÁRSKA PRÁCA
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARIÁN KONTŠEK

VEDÚCI PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Karel Kouřil, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADANIE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Študent: Marián Kontšek

ktorý študuje v **bakalárskom študijnom programe**

odbor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Riaditeľ ústavu Vám v súlade so zákonom č.111/1998 o vysokých školách a so Študijným a skúšobným poriadkom VUT v Brne určuje nasledujúcu tému bakalárskej práce:

Cermety

v anglickom jazyku:

Cermets

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalárska práca je zameraná na cermety z hľadiska výroby, rozdelenia, označovania, fyzikálno-mechanických vlastností, aplikačných oblastí a súčasných trendov vývoja a výroby u renomovaných špičkových producentov nástrojov a nástrojových materiálov. Zvláštny dôraz bude kladený na cermety pre výrobu výstružníkov.

Ciele bakalárskej práce:

1. Základné rozdelenie materiálov pre rezné nástroje
2. Charakteristika cermetov (druhy, výroba, značenie, fyzikálno-mechanické vlastnosti)
3. Cermety v sortimente výroby najvýznamnejších svetových producentov nástrojov a nástrojových materiálov

Zoznam odbornej literatúry:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. BOTHE, O. Strojírenská technologie IV. Třetí vydání. Praha: SNTL, 1989. 91 s. ISBN 2617 04-215-89.
3. BROOKES, K.J.A. World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard materials. Sixth Edition. East Barnet Hertfordshire, United Kingdom: International Carbide Data, 1996. 220+528 p. ISBN 0 9508995 4 2.
4. ČSN-ISO 3685. Zkoušky trvanlivosti při soustružení jednobřitým nástrojem. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing s. r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Zář 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
7. LEICHTFRIED, G. SAUTHOFF, G. SPRIGGS, G.E. Refractory, Hard and Intermetallic Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. ISBN 3-540-42961-1.
8. Technické materiály a prospekty firem Ceramtec, Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Kyocera, Mitsubishi, NTK, Sandvik Coromant, Seco, Sumitomo, Walter, Widia.
9. Odborné časopisy International Journal of Refractory Metals & Hard Materials (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02634368>), Journal of Materials Processing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09240136>), Journal of the European Ceramic Society (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09552219>), Materials Science and Engineering: A (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09215093>), Surface and Coatings Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02578972>), Thin Solid Films (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00406090>), Wear (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648>).

Vedúci bakalárskej práce: Ing. Karel Kouřil, Ph.D.

Termín odovzdania bakalárskej práce je stanovený časovým plánom akademického roku 2012/2013.

V Brne, dňa 24.5.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Riaditeľ ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Dekan fakulty

Abstrakt

Hlavným motívom a cieľom tejto práce, je zhrnúť a doplniť informácie, týkajúce sa materiálov rezných nástrojov, predovšetkým cermetov, ich chemické, fyzikálne a mechanické vlastnosti o najnovšie poznatky súčasného vývoja a ponuky týchto rezných materiálov. Podrobnejšie budú rozobraté predovšetkým výstružníky z cermetov.

Kľúčové slová

Cermety, rezné materiály, kovové rezné materiály, nekovové rezné materiály, výstružníky.

Abstract

The main motive and objective of this work is to summarize and supplement informations related to materials of cutting tools, particularly cermets, their chemical, physical and mechanical properties of the latest knowledge of current trends and offer of these cutting materials. In more detail will be discussed especially reamers of cermets.

Key words

Cermets, cutting materials, metallic cutting materials, nonmetallic cutting materials, reamers.

Bibliografická citácia VŠKP podľa ČSN ISO 690-2

KONTŠEK, M. *Cermety*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 41 s. Vedúci bakalárskej práce Ing. Karel Kouřil, Ph.D..

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne, použil som len podklady a odbornú literatúru uvedenú v zozname použitej literatúry. Pri vypracovávaní bakalárskej práce som postupoval v súlade so zákonom č. 121/2000 Sb., o autorskom práve, o právach súvisiacich s právami autorskými a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon) v platnom znení.

V Brne dňa

.....

Marián Kontšek

Pod'akovanie

Rád by som poďakoval pánovi Ing. Karlovi Kouřilovi Ph.D. za jeho ohromnú trpezlivosť, veľmi cenné rady a pripomienky pri vypracovávaní tejto práce.

Obsah

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA VŠKP PODĽA ČSN ISO 690-2

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

POĎAKOVANIE

OBSAH.....	9
ÚVOD.....	10
1. ZÁKLADNÉ DELENIE MATERIÁLOV PRE REZNÉ NÁSTROJE.....	11
1.1 Kovové rezné materiály.....	11
1.1.1 Nástrojové ocele.....	12
1.1.2 Spekané karbidy.....	14
1.1.3 Metódy povlakovania.....	16
1.2 Nekovové rezné materiály.....	18
1.2.1 Rezná keramika.....	18
1.2.2 Supertvrde rezné materiály.....	19
2. CERMETY.....	21
2.1 Historický vývoj.....	21
2.2 Štruktúra a vlastnosti cermetov.....	22
2.3 Druhy cermetov.....	24
2.4 Výroba cermetov.....	25
2.4.1 Výroba cermetov na báze Ti(C, N) spekaním.....	25
3. CERMETY V SORTIMENTE VÝROBY NAJVÝZNAMNEJŠÍCH SVETOVÝCH PRODUCENTOV NÁSTROJOV A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLOV.....	28
3.1 CeramTec.....	28
3.1.1 Cermety v sortimente firmy CeramTec.....	28
3.2 Mitsubishi Materials.....	29
3.2.1 Cermety v sortimente firmy Mitsubishi Materials.....	30
3.3 Mapal.....	32
3.3.1 Cermety v sortimente firmy Mapal.....	32
3.4 Sandvik Coromant.....	34
3.4.1 Cermety v sortimente firmy Sandvik Coromant.....	34
ZÁVER.....	36
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV.....	37
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	41

Úvod

Obrábanie je základnou technológiou, ktorá je ľudstvom využívaná od svojho vzniku a je potrebné pre veľkú väčšinu predmetov, ktoré nás obklopujú a vecí používaných každý deň.

Na obrábanie sú používané rezné nástroje s reznou časťou vyrobenou z rezného materiálu. Ich vývoj prešiel dlhou cestou zdokonaľovania a v súčasnosti používame na obrábanie veľké množstvo rôznych materiálov so špecifickými vlastnosťami pre konkrétnu operáciu.

Priemyselné podniky na celom svete používajú pri výrobe svojich produktov určených pre strojárstvo rôzne metódy obrábania. Najväčší podiel z nich majú sústruženie, frézovanie a vŕtanie. Medzi najpoužívanjšie dokončovacie metódy obrábania patrí mimo iných aj vystružovanie. Súčasné rezné nástroje pre strojné obrábanie sú vyrábané z rôznych materiálov. Najpoužívanjšie sú spekané karbidy. Často sú používané cermety, nástroje z reznej keramiky a supertvrdé rezné materiály ako sú kubický nitrid bóru a syntetický diamant. Dá sa povedať, že prakticky každý nový materiál posunie strojné obrábanie do vyšších rezných rýchlostí. Táto práca sa zaoberá práve cermetmi. Ich využitie nachádza najväčšie uplatnenie v dokončovacích operáciách, kde sú potrebné vysoké rezné rýchlosti a kvalita obrobeného povrchu.

Výrobci sa v súčasnosti špecializujú na zdokonalenie už známych materiálov a optimalizovanie ich použitia vo výrobných aplikáciách.

1. Základné delenie materiálov pre rezné nástroje

Materiály, z ktorých sa zhotovujú rezné klíny nástrojov určených na rezanie (obrábanie), sa nazývajú nástrojové alebo rezné materiály. Existuje niekoľko skupín týchto materiálov. V závislosti na spôsobe výroby a použitia sa tieto materiály vyznačujú špecifickými chemickými a fyzikálno-mechanickými vlastnosťami.

Rozličné typy obrábania vyžadujú rôzne rezné nástroje. Ideálny nástroj pre obrábanie materiálu by mal mať všetky z nasledujúcich charakteristík ^{3,4}:

- tvrdší než obrábaný materiál
- vysoká tepelná stabilita
- odolný voči opotrebeniu a tepelnému šoku
- odolný proti nárazom
- chemicky inertný voči obrábanému materiálu prípadne aj chladiacej kvapaline
- lacná výroba

Nanešťastie, žiadny z jednotlivých rezných materiálov nevyniká všetkými týmito vlastnosťami a preto sa snažíme pri výbere materiálu rezného nástroja hľadať kompromisy pre konkrétne aplikácie. V praxi to znamená, že vyberáme nástroj z takého materiálu, aby bol čo najlacnejší a pritom dostatočne kvalitne opracovával povrch obrobku. V niektorých prípadoch však na výber nemáme.

Základné skupiny materiálov rezných nástrojov sú ²:

- **Kovové rezné materiály**
- **Nekovové rezné materiály**

1.1 Kovové rezné materiály

Rezné nástroje z kovových materiálov sú najrozšírenejšou skupinou nástrojov. Oblasť ich využitia pokrýva takmer všetky priemyselné odvetvia. Hlavnou zložkou kovových materiálov je kovový prvok (Fe, Cu, Al,...).

Existuje niekoľko druhov kovových materiálov, ktoré podľa ich zloženia a samotnej výroby rozdeľujeme na ²:

- **Nástrojové ocele**
- **Spekané karbidy**
- **Cermety**

1.1.1 Nástrojové ocele

Uhlíkové nástrojové ocele:

Hlavným legujúcim prvkom je uhlík (C). Vlastnosti tejto ocele sú definované v závislosti na obsahu uhlíka. Dá sa povedať, že čím je vyšší obsah uhlíka v danom materiály tým je po kalení tvrdší, odolnejší proti opotrebeniu a tlakovému namáhaniu, ale znižuje sa jeho húževnatosť. Je to spôsobené vplyvom uhlíka na kryštalickú štruktúru. Zvýšenie hladiny uhlíka v materiály má za následok zjemnenie štruktúry materiálu a tým aj zvýšenie jeho tvrdosti a naopak zníženie jeho hladiny spôsobí vznik hrubozrnnej štruktúry a tým aj zhúževnatenie materiálu^{17, 19}.

Uhlíkové nástrojové ocele sa vyrábajú s obsahom uhlíka v rozmedzí 0,5 % až 1,5 % a ďalších legujúcich prvkov, ako sú mangán (Mn) < 0,8%, kremík (Si) < 0,5%, fosfor (P) a síra (S) max 0,04%⁵.

Dosahujú tvrdosť 56 – 60 HRC a odolávajú teplotám do 250°C až 300°C. Používajú sa zväčša ako ručné nástroje (sekáče, pilníky, nástroje na tvárnenie) kvôli malému reznému výkonu pri obrábaní vyššími reznými rýchlosťami²⁴.

Legované nástrojové ocele:

Nedostatky uhlíkových nástrojových ocelí z časti odstraňujú legujúce prvky. Sú to hlavne chróm (Cr), molybden (Mo), vanád (V), volfrám (W) a nikel (Ni). Všetky tieto prvky okrem niklu sú karbidotvorné. Znamená to, že zvyšujú tvrdosť a stabilitu karbidickej fázy pričom znižujú pokles tvrdosti po popúšťaní. Nikel sa pridáva kvôli zvýšeniu húževnatosti²⁶.

Nízkolegované a strednelegované nástrojové ocele obsahujú 0,6% až 1,3% uhlíka. Do nástrojov pracujúcich pri vyšších teplotách, napríklad lisovacie a kovacie nástroje, sa pridáva do 0,3% vanádu a do 9,5% volfrámu, čo má za následok zvýšenie odolnosti voči popusteniu a takisto predchádza aj následnému poklesu tvrdosti nástroja. Nástroje s požiadavkou vysokej tvrdosti a prekaliteľnosti (preťahovacie tŕne, frézy) obsahujú 1,9% uhlíka a 12% chrómu a sú to takzvané „ledeburitické ocele“ s charakteristickou sieťovinou^{19, 26}.

Legované nástrojové ocele dosahujú tvrdosť 60 – 65 HRC a dokážu odolávať teplotám do 350°C až 400°C. Môžeme používať vyššie rezné rýchlosti oproti uhlíkovým nástrojovým oceliam. Používajú sa na vrtáky, výhružníky, výstružníky, nástroje na preťahovanie, nástroje na obrábanie dreva, chirurgické nástroje, nástroje na tvárnenie²⁶.

Rýchlorezné nástrojové ocele:

Sú to vysokolegované nástrojové ocele. Hlavné legujúce prvky, podobne ako pri legovaných nástrojových oceliach sú karbidotvorné prvky chróm (Cr), molybden (Mo), vanád (V) a volfrám (W). Pridáva sa aj kobalt (Co), ktorý zvyšuje pevnosť tuhého roztoku pri vyšších teplotách²⁵.

Nevýhoda prítomnosti pomerne veľkého obsahu legujúcich prvkov 15% až 30% má za následok nízku tepelnú vodivosť materiálu, čo znamená náročné tepelné spracovanie. Pri

ohreve je treba chrániť povrch pred oduhličením a oxidáciou postupným ohrievaním na kaliacu teplotu (1210°C až 1280°C), ktorú je potrebné dosiahnuť kvôli rozpusteniu karbidov. Postupným ohrievaním dosahujeme vyrovňovanie teploty na povrchu a v jadre materiálu.

Rýchlorezné nástrojové ocele obsahujú z pravidla 0,8% až 1,4% uhlíku (C), 6% až 18% volfrámu (W), 4,2% chrómu (Cr), do 0,5% molybdénu (Mo), 5% až 11% kobaltu (Co) a 1,3% až 4,3% vanádu (V). Dosahujú tvrdosť 83 až 86 HRA (60 až 68 HRC) a sú dlhodobo schopné znášať teplotu do 600°C²⁵.

Pre zvýšenie trvanlivosti a rezných vlastností, predovšetkým oteruvzdornosti, tvrdosti a tepelnej únavy rýchlorezných ocelí sa využívajú rôzne metódy povlakovania. Pre rýchlorezné nástrojové ocele je najpoužívanejšou metódou metóda PVD, kvôli nižšej teplote povlakovania do 500 °C, pri ktorej ešte nedochádza k štrukturálnym zmenám v materiály⁷.

Tab. 1.1 Rozdelenie ocelí.

	výhody	nevýhody	použitie
Uhlíkové nástrojové ocele	nízka cena	tvrdosť 56 – 60 HRC	Ručné nástroje: <ul style="list-style-type: none">• sekáče• pilníky• nástroje na tvárnenie
		odolávajú teplotám do 250°C až 300°C	
		Vysoké opotrebovanie	
	ľahká dostupnosť	Malá prekaliteľnosť a malá tvrdosť	
		Malá odolnosť proti zhrubnutiu zrna pri prekročení kaliacej teploty	
		Nepostačujúci výkon pri obrábaní kovov vyššími rýchlosťami	
Legované nástrojové ocele	Vyššie rezné rýchlosti	Odolávajú teplotám do 350°C až 400°C	<ul style="list-style-type: none">• vrtáky• výstružníky• nástroje na obrábanie dreva• nástroje na tvárnenie• nástroje na preťahovanie• chirurgické nástroje
	Vyššia odolnosť voči popusteniu		
	Dobrá odolnosť proti oteru	Dosahujú tvrdosť 60 – 65 HRC	
	Vysoká húževnatosť		
Rýchlorezné nástrojové ocele	Dlhodobo schopné odolávať teplote do 600 °C	Nízka tepelná vodivosť materiálu	Obrábacie nástroje: <ul style="list-style-type: none">• vrtáky• frézovacie hlavy• sústružnicke nože• závitníky• preťahovacie trne• atď
	Tvrdosť 83 až 86 HRA (60 až 68 HRC)		
	Vysoká tvrdosť		
	Vysoká odolnosť voči opotrebovaniu za vysokých teplôt	Náročné tepelné spracovanie	
	Dlhodobá životnosť reznej hrany		

1.1.2 Spekané karbidy

Tvrde, kovom podobné látky, ktoré sú základom súčasných spekaných karbidov a cermetov, sú tvorené zlúčeninami uhlíku-karbidy, dusíku-nitridy, bóru-boridy a kremíku-silicidy.

Nepovlakované spekané karbidy:

V súčasnosti sa nepovlakované spekané karbidy pre rezné aplikácie označujú podľa normy ČSN ISO 513 symbolmi HW a HF a podľa použitia sú rozdelené do šiestich skupín – **P, M, K, N, S a H**. Vzhľadom k svojmu zloženiu sú nepovlakované spekané karbidy tiež označované ako jednokarbidové (**K**), dvojkarbidové (**P**) a viackarbidové (**M**)¹⁶.

Skupina K: Je označovaná červenou farbou a karbidy v tejto skupine sa používajú na obrábanie materiálu tvoriaceho krátku, drobivú triesku ako je šedá liatina, neželezné zliatiny a nekovové materiály. Rezné sily sú pomerne nízke a zpravidla dochádza k adhézemu a abrazívnemu opotrebeniu. Jedinú tvrdú zložku tvorí karbid wolframu – WC, ktorý ma porovnateľnú tvrdosť s ostatnými karbidmi ale pri vyšších teplotách táto hodnota klesá rýchlejšie než pri iných karbidoch. Preto sa nepoužívajú na obrábanie materiálov tvoriach dlhú triesku. Obsahujú WC (87-92) % + Co (4-12) % + (TaC.NbC).

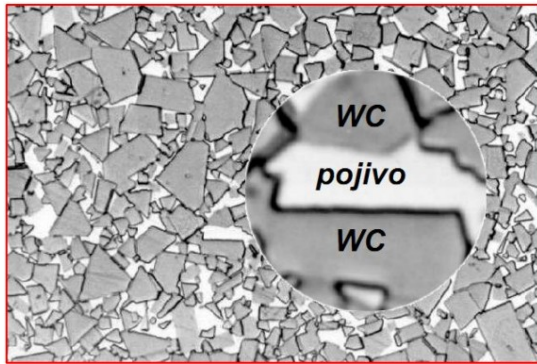
Skupina P: Je označovaná modrou farbou a karbidy v tejto skupine sa používajú na obrábanie materiálu tvoriaceho dlhú triesku, ako sú uhlíkové ocele, zliatiny a feritické nehrdzavejúce ocele. Pri tomto obrábaní dochádza zpravidla k veľkým rezným silám a s tým súvisiacim opotrebením na čele. K tomuto opotrebeniu dochádza pri difúzií za vysokých teplôt. Odolnosť proti tomuto opotrebeniu zvyšuje veľké množstvo binárnych zlúčenín TiC a TaC. Obsahujú WC (30-82) % + TiC (8-64) % + Co (5-17) % + (TaC.NbC).

Skupina M: Je označovaná žltou farbou a karbidy v tejto skupine majú univerzálne použitie a sú vhodné na obrábanie materiálov tvoriach dlhú alebo strednú triesku ako sú liate, austenitické nehrdzavejúce ocele a tvárne zliatiny. Vďaka svojej pomerne vysokej húževnatosti sú vhodné aj pre ťažké hrubovacie a prerušované rezy. Rezné sily dosahujú stredné až vysoké hodnoty a dochádza k vydrolovaniu na ostrí. Obsahujú WC (79-84) % + TiC (5-10) % + Co (6-15) % + TaC.NbC (4-7) %.

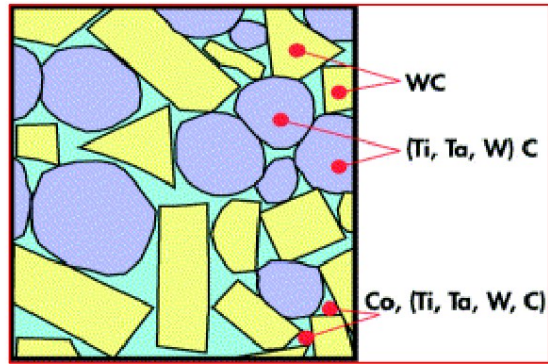
Skupina N: Je označovaná zelenou farbou a karbidy v tejto skupine sú určené na obrábanie neželezných kovov (hlavne hliníku) a plastov.

Skupina S: Je označovaná hnedou farbou a karbidy v tejto skupine sú vhodné na obrábanie žiaruvzdorných a titanových zliatin.

Skupina H: Je označovaná sivou farbou a karbidy v tejto skupine sú vhodné na obrábanie kalených a veľmi tvrdých ocelí.



Obr. 1.1 Štruktúra Wc-Co po spekaní ²⁹



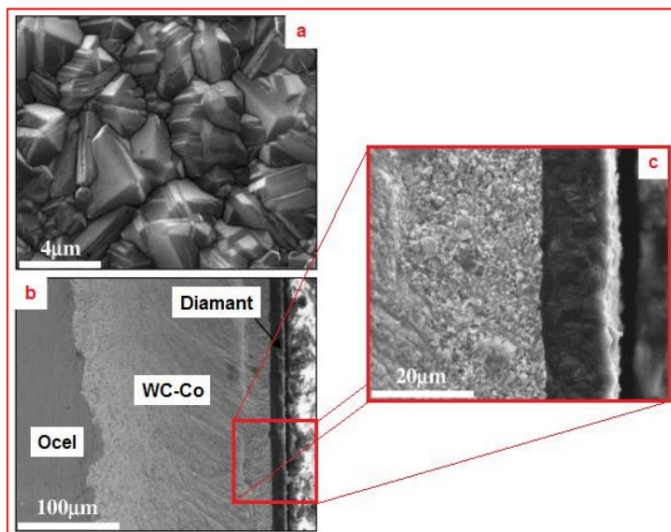
Obr. 1.2 Schéma štruktúry SK po spekaní ³⁰

Povlakované spekané karbidy:

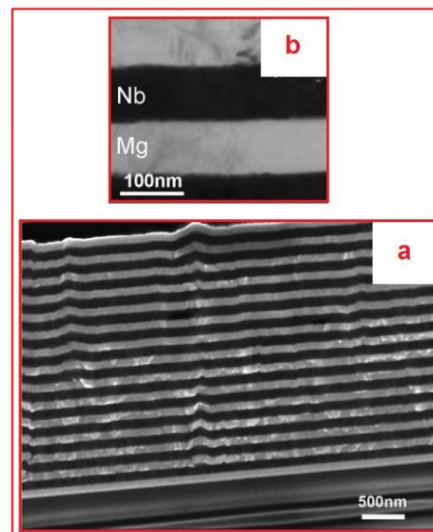
Prvé povlakované vymeniteľné doštičky zo spekaných karbidov pre obrábanie sa na trhu objavili koncom 60. rokov 20. storočia. Konkrétne to bol materiál GC125 firmy Sandvik Coromant s povlakom TiC o hrúbke 4-5 μm . Onedlho nato boli vyvinuté povlaky typu TiN a TiCN. Povlaky boli robené metódou CVD ^{16, 22}.

Najčastejšie sa uvádzajú tieto vývojové stupne povlakovaných spekaných karbidov ¹⁶:

- **1. generácia:** jednovrstvové povlaky, prevažne TiC, s hrúbkou okolo 7 μm , so zlou adhézou.
- **2. generácia:** jednovrstvové povlaky, TiC, Ti(C,N) a TiN, s hrúbkou až 13 μm , bez krehkých eta-karbidov.
- **3. generácia:** dve, tri (i viac) vrstiev s ostro ohraničenými prechodmi medzi nimi. Ako prvé sa nanášajú povlaky s lepšou príľnavosťou k podkladu, ktoré majú relatívne nižšiu odolnosť proti opotrebeniu a ako posledné sa nanášajú povlaky s vysokou tvrdosťou, odolnosťou proti opotrebeniu a oxidácií za vysokých teplôt, ktoré nemusia mať dobrú príľnavosť k podkladu. Najčastejšie sa používajú povlaky v poradí: TiC+TiN, TiC+Al₂O₃, TiC+Al₂O₃+ TiN, TiC+Ti(C, N)+TiN.
- **4. generácia:** špeciálne viacvrstvové povlaky (aj s viac ako desiatimi vrstvami). V súčasnosti sú najrozšírenejšie kombinácie TiC, TiN, Ti(C,N), TiAlN a Al₂O₃. Za povlaky 4. generácie sú tiež považované diamantové, nanokompozitné, gradientné, supermriežkové a takzvané inteligentné povlaky, ktoré dokážu vyhodnocovať opotrebenie nástroja počas obrábania.



Obr. 1.3 Diamantový povlak na substráte HSS a medzi-vrstve SK, hrúbka 15 µm (a – pohľad zhora, b,c – v reze) ³¹



Obr. 1.4 Viacvrstvový povlak 4. generácie Mg/Nb, hrúbka 200nm (a – pohľad v reze, b – 5x zväčšené) ³²

1.1.3 Metódy povlakovania

Povlakované spekané karbidy sú vyrábané nanášaním tenkej vrstvy materiálu s vysokou tvrdosťou a odolnosťou proti opotrebeniu na podklad z bežného spekaného karbidu typu K, P alebo M ¹⁵.

Povlak vo forme tenkej vrstvy má vyššiu tvrdosť aj pevnosť ako rovnaký homogénny materiál v akejkoľvek inej forme. Je to spôsobené tým, že povlakový materiál v porovnaní so substrátom neobsahuje žiadne pojivo a má niekoľkonásobne jemnejšiu zrnitosť a zároveň menej štruktúrnych defektov.

V zásade môžeme rozdeliť metódy povlakovania do troch základných skupín.

Metóda PVD (Physical Vapour Deposition):

Umožňuje výrobu kvalitných vrstiev pri teplote cca 500°C a menej. Táto metóda bola pôvodne vytvorená pre povlakovanie nástrojov rýchlorezných ocelí aby nedošlo k tepelnému ovplyvneniu nástroja. Umožňuje vytváranie vrstiev aj na súčiastkach z hliníka, hliníkových zliatin a plastov, dokonca aj na veľmi tenkých fóliách z polypropylénu, polyethylénu, polyesteru a ďalších materiáloch. PVD metódy na vytváranie tenkých Ti vrstiev možno ďalej členiť na ^{8, 16, 23}:

- reaktívne iónové plátovanie (ion plating)
- reaktívne naprašovanie (sputtering)
- reaktívne naparovanie (evaporation)

Metóda CVD (Chemical Vapour Deposition – Chemické naparovanie):

Patrí medzi najstaršie metódy vytvárania tenkých vrstiev a je založená na princípe chemickej syntézy vrstiev z plynnej fázy pri vysokej teplote (1000 - 1200)°C. Používa sa prevažne na povlakovanie rezných platničiek zo spekaného karbidov. CVD zariadenie umožňuje vytvárať vrstvy rôzneho zloženia v závislosti od kombinácie pracovných plynov. Takto môžeme vytvárať napr. vrstvy TiN_x, TiC, TiB₂, TiO₂, TiSi₂ apod. Táto metóda môže byť realizovaná v štyroch variantách ^{8, 16, 23}:

- **tepelne indukovaná**
- **plazmaticky aktivovaná**
- **elektrónovo indukovaná (lúč elektrónov)**
- **fotónovo indukovaná (laserom)**

Metóda PACVD (Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition):

Naparovanie tenkých tvrdých vrstiev prebieha pri oveľa nižších teplotách, ako pri konvenčných CVD (Chemical Vapour Deposition) metódach. Plazmou aktivovaný CVD proces umožňuje znížiť teplotu potrebnú pre vznik vrstvy na povrchu povlakovaného materiálu z približne 1000°C pri CVD technológií povlakovania na 470°C až 530°C pri technológii PACVD. Pri aktivácii pracovnej zmesi vo výboji obklopujúcom povrch substrátu dochádza k molekulárnej excitácii jednotlivých zložiek pracovnej zmesi, ktorá indukuje syntézu vrstiev novým nerovnovážnym procesom, čo značne znižuje nároky na povlakovacie zariadenie. Metóda je známa aj pod pojmom PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition) ^{8, 16, 23}.

Tab. 1.2 Prehľad vlastností základných metód povlakovania.

Metóda povlakovania	výhody	nevýhody	použitie
PVD	Nízke trenie	Veľké vnútorné nastie v povlaku	<ul style="list-style-type: none">• obrábanie ťažkoobrobiteľných materiálov• razidlá• strižníky• ťažníky• vrtáky• frézy• ai. vysokorezné materiály
	Vysoká tvrdosť	Vysoké zaťaženie teplotnou radiálou	
	Odolnosť voči oteru	Nízke využitie zdroju materiálu	
	Odolnosť voči teplote 550°C- 750°C	Pre riadenie vlastností povlaku je možné použiť iba niekoľko procesných parametrov	
	Odolnosť voči korózii a kyselinám		
	Niekoľkonásobne dlhšia životnosť		
CVD	Vysoká hustota povlaku	Iba na keramiku, spekané karbidy, príp. rýchloreznú oceľ (HSS)	<ul style="list-style-type: none">• diamantové povlaky• povlakovanie rezných platničiek zo spekaného karbidov
	Vysoká homogenita povlaku	Negatívny vplyv na okolité prostredie	
	Ekonomická výhodnosť	Nedajú sa povlakovať ostré hrany	
	Dobrá stechiometria povlaku	Vysoké pracovné teploty a energetická náročnosť výroby	
	Vysoká teplotná stabilita povlaku	Dlhý pracovný cyklus 8- 10 hodín	

Veľkou výhodou a v niektorých prípadoch priam nutnosťou je, že v priebehu povlakovania nedochádza k zmene rozmeru povlakovaného materiálu. Tieto povlaky sa vyznačujú extrémne nízkym koeficientom povrchového trenia – až 0,1.

1.2 Nekomové rezné materiály

Medzi nekovové materiály patria:

- **rezná keramika**
- **supertvrde rezné materiály**

Ich zloženie je špecifické a závisí na konkrétnej operácii, na ktorú budú použité.

1.2.1 Rezná keramika

Keramika je charakterizovaná ako prevažne kryštalický materiál, ktorého hlavnou zložkou sú anorganické zlúčeniny nekovového charakteru. Charakteristické je aj to, že nová keramika je vyrábaná z veľmi čistých surovín a východných chemikálií. Je to polykryštalický materiál so zrnami malých rozmerov (pod $1\mu\text{m}$), ktorý obsahuje náhodné technologické defekty a mikroštruktúrne nehomogenity ¹⁶.

Hlavnými materiálmi pre výrobu reznej keramiky sú oxidy Al_2O_3 , Y_2O_3 , ZrO_2 , karbid TiC , nitridy TiN a Si_3N_4 . Rezná keramika je známa svojou vysokou tvrdosťou, tlakovou pevnosťou a schopnosťou odolávať veľmi vysokým teplotám. Niektoré sú uvedené v tabuľke.

Tab. 1.3 Teploty tavenia a tvrdosť podľa Vickersa pre vybrané keramické materiály ¹⁶

Materiál	Teplota tavenia ($^{\circ}\text{C}$)	Tvrdosť (HV)
Al_2O_3	2050	2000
ZrO_2	2700	
Si_3N_4	1900	1000
SiC	2200	2500

Rozdelenie a značenie reznej keramiky nepodlieha žiadnej norme ako je tomu napríklad pri spekaných karbidoch ale všeobecne ju delíme na dve skupiny ^{1, 16}:

- **oxidická keramika**, ktorej základnou surovinou pre výrobu je veľmi jemný a jemnozrnný oxid hlinitý (Al_2O_3) spolu s ďalšími prísadami (najčastejšie sú to oxidy zirkonia, yttria, chrómu, titánu, niklu, horčíku, kobaltu, molybdénu a karbidy ťažkotavitelných kovov ako je wolfrám a titán), ktoré majú uľahčiť spekanie a zabrániť rastu zrna.

Keramika je zložená z pevných kryštálov vytvorených iónovou a kovalentnou väzbou. Vďaka nim je materiál veľmi tvrdý, odolný voči deformáciám a stabilný pri vysokých teplotách, pretože uvedené väzby umožňujú len minimálny pohyb atómov. Nevýhodou je, že vznikajú problémy pri spekaní. Veľké množstvo prísad na podporu spekania by spôsobilo, že výsledný materiál by stratil svoje charakteristické vlastnosti.

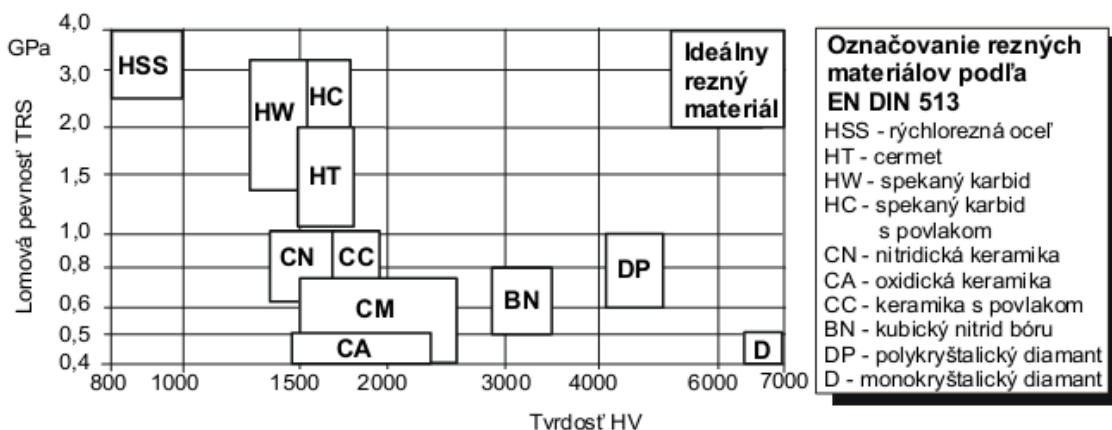
Tento problém vyriešila metóda spekania **HIP** (Hot Isostatic Pressing – Izostatické lisovanie za tepla). Metóda spočíva v tom, že je materiál stlačovaný plynom vo všetkých

smeroch rovnomerne. V praxi sú používané dve prevedenia tejto metódy ²⁰.

Prvá je púzdrová metóda, pri ktorej je východzí prášok uložený a odplynovaný v nerozpustnej kapsuli a druhé prevedenie je dopredu pripravený prášok a relatívne hutný materiál izostaticky spekaný pri vysokej teplote.

- **nitridická keramika**, jej hlavnou zložkou je nitrid kremíka (Si_3N_4), ktorý existuje v dvoch kryštálových modifikáciách α a β . Fáza β je stabilná pri vysokých teplotách. Tieto fázy majú rozdielne mikroštruktúry, čo má za následok aj rozdielne mechanické vlastnosti. α - Si_3N_4 má vyššiu tvrdosť ale nižšiu lomovú húževnatosť ako β - Si_3N_4 .

Pri spekaní Si_3N_4 sú pridávané rôzne oxidy kovov, ktoré počas ohrevu vytvárajú s nitridom kremíku tekutú fázu urýchľujúcu premiestňovanie hmoty. Výsledná štruktúra je tvorená zrnami Si_3N_4 obklopenými hraničnou fázou, obvykle amorfnou. Tekutá fáza môže mať negatívny vplyv, lebo v priebehu ochladzovania sa segreguje na hraniciach zŕn a tvorí krehkú interkryštalickú štruktúru ¹⁶.



Obr. 1.5 Vlastnosti rezných materiálov a ich označovanie podľa EN DIN ISO 513 ⁴

1.2.2 Supertvrde rezné materiály ^{5, 16, 17, 20, 24}

Pod tento všeobecný názov zahrňujeme dva synteticky vyrobené materiály:

- **polykryštalický diamant (PKD)**
- **polykryštalický kubický nitrid bóru (PKNB)**

Vďaka vynikajúcim mechanickým vlastnostiam (tabuľka 1.4 a 1.5) sú používané ako rezné materiály pre špeciálne aplikácie.

- **Polykryštalický diamant (PKD)** má pomerne nízku teplotnú stálosť (pri teplote nad 650°C sa mení na grafit), takže sa nesmie používať na obrábanie materiálov, ktorých základ tvorí železo (oceľ, liatiny,...). Dôvodom je, že pri obrábaní týchto materiálov dochádza k nadmernému ohrevu a tým pádom aj k silnej difúzií medzi nástrojom a obrábaným materiálom. Došlo by k rýchlemu opotrebeniu hlavne na čele nástroja kvôli vznikajúcim chemickým reakciám.

PKD používame na obrábanie zliatin hliníka, medi, titanu, kompozitov vystuženými rôznymi druhmi vlákien (sklenené, uhlíkové, kevlarové, polyetylénové,...), keramiky, grafitu a tvrdých prírodných materiálov ako je žula alebo mramor ¹⁶.

Chladiaca kvapalina by mala byť do miesta rezu privádzaná pod vysokým tlakom, pretože nástroje z PKD obvykle pracujú pri veľmi vysokých rezných rýchlostiach. S tým s súvisí aj potreba dobrej tuhosti a výkonu obrábacieho stroja.

• **Polykryštalický kubický nitrid bóru (PKNB)** sa používa na sústruženie alebo frézovanie kalených ocelí alebo tvrdených zliatin až do tvrdosti 65 HRC, pri reznej rýchlosti až 200 m.min⁻¹.

Nitrid bóru (nitrid boritý – BN) je biely, mäkký, elektricky nevodivý, termicky stály, málo reaktívny a má hexagonálnu štruktúru. Kubický nitrid bóru bol vyrobený až po objave, že hexagonálna forma môže byť transformovaná na kubickú (pri veľmi vysokej teplote a tlaku). Aby došlo k zmene vlastností, tak teplota musí presiahnuť 1400 ÷ 1550 °C, čo je v porovnaní s diamantom výrazný rozdiel ¹⁶.

Tab. 1.4 Prehľad vlastností a použitia nekovových rezných materiálov

	výhody	nevýhody	použitie
rezná keramika	Vysoká tvrdosť	Problémy pri spekaní	<ul style="list-style-type: none">• Vymenniteľné rezné doštičky• Funkčné plochy meradiel a špeciálnych prievlakov
	Tlaková pevnosť	Náchylné na tepelné šoky	
	Schopnosť odolávať veľmi vysokým teplotám	Nemožno predpokladať čas do porušenia	
	Neobsahujú kovové spojivo		
PKD	Vysoká odolnosť voči abrazívnemu opotrebeniu	Nesmie sa používať na obrábanie kovov	<ul style="list-style-type: none">• obrábanie zliatin hliníka, medi, titanu, kompozitov vystuženými rôznymi druhmi vlákien (sklenené, uhlíkové, kevlarové, polyetylénové,...), keramiky, grafitu a tvrdých prírodných materiálov ako je žula alebo mramor
		Nízka teplotná stálosť	
KNB	Termicky stály	teplota musí presiahnuť 1400 ÷ 1550 °C, aby došlo k zmene vlastností	<ul style="list-style-type: none">• sústruženie alebo frézovanie kalených ocelí alebo tvrdených zliatin až do tvrdosti 65 HRC
	Elektricky nevodivý		
	Málo reaktívny		

Tab. 1.5 Vlastnosti syntetických supertvrdých materiálov ¹⁶

Vlastnosť	Diamant		Kubický nitrid bóru	
	M	P	M	P
Merná hmotnosť [g.cm ⁻³]	3,515÷3,520	3,42÷4,50	3,43÷3,50	3,42÷4,40
Dĺžka strany mriežky [nm]	0,3567		0,3615	
Pevnosť v tlaku [GPa]	6,90÷16,53	4,2÷8,0	6,9	2,7÷3,5
Pevnosť v ohybe [MPa]	1350	1200÷1700	700	500÷800
Tvrdosť [HV]	5700÷13000	5000÷8000	4000÷7500	2700÷3500
Modul pružnosti v ťahu [GPa]	820÷1250	776÷925	650÷850	587÷800
Modul pružnosti v šmyku [GPa]	507	430		280
Lomová húževnatosť K _{IC} [MPa.m ^{1/2}]	3,4÷4,2	6,0÷11,0		3,5÷6,7
Poissonovo číslo [-]	0,10÷0,29	0,20		0,20÷0,22
Súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	0,8÷4,8	3,2÷4,6	3,5÷5,8	4,6÷4,9
Merná tepelná vodivosť [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	500÷2200	120÷550	13÷200	44÷200
Teplotná stálosť [°C]	600÷700		1200÷1400	

2. Cermety

Názov cermety majú spekané materialy s tvrdou fázou tvorenou predovšetkým TiC, TiN alebo TiCN. Cermety sú označované symbolom HT podľa normy ČSN ISO 513 ⁴.

2.1 Historický vývoj

Názov vznikol spojením prvých troch písmen anglických slov „CERamic (keramika)“ a „METal (kov)“. Tento názov má vyjadrovať výhodnú kombináciu húževnatosti kovu a tvrdosti keramiky. Cermety sú veľmi rozšírené hlavne v dokončovacích operáciách, pretože cermety vytvárajú pri obrábaní plochy nízku drsnosť. Je to kvôli ich odolnosti proti adhézii a malej reaktivnosti s obrábaným oceľovým materiálom. Novodobé cermety majú porovnateľné hodnoty lomovej húževnatosti a ohybovej pevnosti ako spekané karbidy, ktoré patria do rovnakej aplikačnej oblasti podľa normy ISO.

Cermety pôvodne vyvinuli v rakúskej firme Plansee a chceli tým obísť patenty nemeckej firmy Krupp. Na začiatku boli veľmi krehké a nikto im nevenoval pozornosť. V polovici 50. rokov 20. storočia v USA vyrobili prvé použiteľné Cermety ale stále boli v porovnaní s kovovými materiálmi málo húževnaté pre praktické použitie, prípadne ako ich náhrada. Avšak v Japonsku cermety brali ako lacný a ľahko dostupný materiál. Boli často používané, hlavne aj kvôli tomu, že neobsahujú wolfram ani kobalt a týchto materiálov bol v Japonsku nedostatok ¹⁶.

Tab.2.1 Historický vývoj cermetov ¹⁶

Rok	Nový materiál, technológia
1929 ÷ 1931	TiC-Mo ₂ C-Ni, Cr, Mo
1930 ÷ 1931	TaC-Ni, Ti(C, N)-Ni(Co, Fe)
1931	TiC-TaC-Co, TiC-Cr, Mo, W, Ni, Co
1938	TiC-VC-Ni, Fe
1944	TiC-NbC-Ni, Co
1949	TiC-VC-NbC-Mo ₂ C-Ni
1950	TiC(Mo ₂ C, TaC)-Ni, Co-Cr
1952 ÷ 1966	TiC – tepelne spracovateľné materiály
1957	TiC-TiB ₂
1965 ÷ 1970	Ti(C, N)-Ni, Mo, TiC-Mo ₂ C-Ni, Mo
1968 ÷ 1970	(Ti, Mo)C-Ni, Mo
1968 ÷ 1973	TiC-Al ₂ O ₃
1969 ÷ 1970	TiC-TiN-Ni
1972 ÷ 1975	TiC-TaN-Ni
1973 ÷ 1974	(Ti, Mo)(C, N)-Ni, Mo, (Ti, W)(C, N)
1977	TiC-TaC-WC-ZrC-(Ni-Mo-Co), patentované firmou Toshiba Tungaloy
1979	TiC-TaC-Mo ₂ C-Ni
1980	Ti(C,N) precipitačne vytvrdené materiály
1980 ÷ 1983	(Ti,Mo,W)(C,N)-Ni,Mo,Al
1981 ÷ 1986	Karbidové/karbonitridové cermety na báze W/Ti/Mo s komplexnými pojivami na báze Co/Ni
1988	(Ti,Ta,Nb,V,W)(C,N)-(Ni,Co), (Ti,Ta,Nb,V,Mo,W)(C,N)-(Ni,Co)-Ti ₂ AlN, vysoká húževnatosť, cermety TTI a TTI15 firmy Widia
1988 ÷ 1989	Cermety s 5÷6 % dusíku, firma Sumitomo
1990 ÷ 1994	submikrometrová zrnitosť (firma Mitsubishi), CVD a PVD povlaky
1991	(Ti,Ta,Nb,V,Mo,W,atd.)(C,N)-Ni-Cr

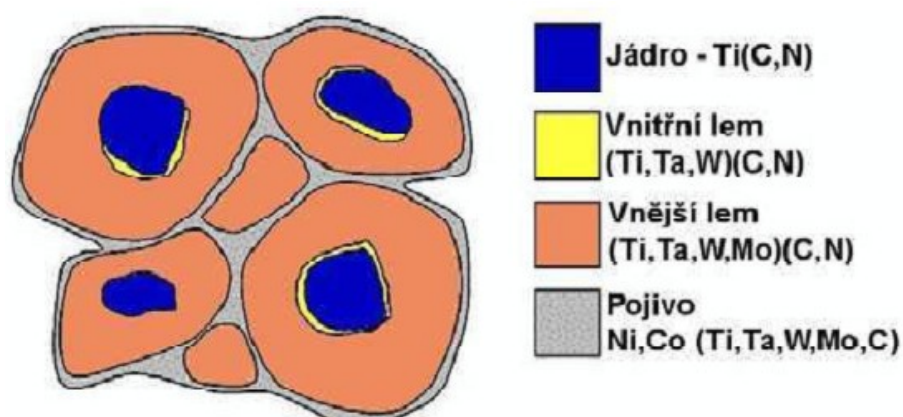
2.2 Štruktúra a vlastnosti cermetov

Kľúčom k interpretácii fyzikálno-mechanických vlastností cermetov na bázi Ti(C, N) je ich zložitá mikroštruktúra. V porovnaní so spekanými karbidmi typu WC-Co je mikroštruktúra cermetov na bázi Ti(C, N) oveľa zložitejšia a výrazne ovplyvnená zložením východzieho prášku (Tab. 2.2), veľkosťou častíc, rozložením veľkosti častíc a spekačou atmosférou ¹⁶.

Tab. 2.2 Chemické zloženie a veľkosť zrna spekacích práškov ¹¹.

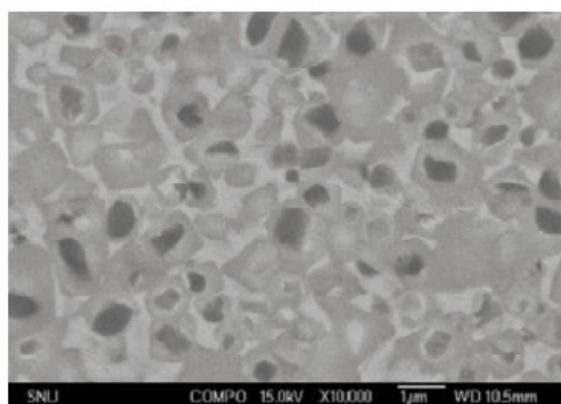
Prášok	Chemické zloženie (hmotnostný zlomok)[%]										Veľkosť zrna [μm]
	Ti	W	Mo	Ta	C	N	O	Ni	Co	Fe	
Ti(C,N)	78,4				9,68	11,2	0,34				1,4
Mo ₂ C			93,8		6,24		0,16			0,04	2,03
WC		93,82			6,13					0,01	1,75
TaC				93,34	6,22		0,14				0,96
Ni					0,06		0,28	99,5	0,32		2,53
Co					0,03		0,39	0,05	99,9		1,12

Všeobecne sú cermety zložené z tvrdej fázy (karbonitrid titanu, zapríčiňuje vysokú tvrdosť) a kovového pojiva (Ni, Co alebo ich zmes), ktoré spojuje tvrdú fázu a zaisťuje húževnatosť a vysokú odolnosť proti teplotným šokom (Obr. 2.1) ¹⁶.



Obr. 2.1 Schématická štruktúra cermetu ³³

Pozorovanie mikroštruktúry pomocou elektrónového rastrovacieho ukázalo, že karbonitridové zrná často vykazujú typickú štruktúru jadro – plášť. Čierne jadro Ti(C, N) je v podstate nerozpustený pôvodný prášok je obklopený sivým plášťom (Obr. 2.2) ¹⁶.



Obr. 2.2 Mikroštruktúra cermetu ³⁴

2.3 Druhy cermetov

Cermety rozdeľujeme v závislosti od obsahu prvkov tvoriacich binárne tvrdé zlúčeniny (tab. 2.2). Z hľadiska historického vývoja ich tiež rozdeľujeme¹⁶:

- **1. generácia (TiC-Mo-Ni a TiC-Mo₂C-Ni):**

Cermety v tejto kategórii mali obmedzené použitie len na "ľahké rezanie". V porovnaní so spekanými karbidmi mali malú húževnatosť a odolnosť proti vydrolovaniu. V súčasnosti sú málo používané.

- **2. generácia (TaC a WC):**

Pridaním karbidu wolframu a tantalu sa zlepšila pevnosť a odolnosť proti vydrolovaniu. Použitie bolo rozšírené o oblasť sústruženia strednými hodnotami posuvových rýchlostí a "ľahké frézovanie".

- **3. generácia (TiC-TiN):**

Cermety na báze karbidu titanu a nitridu titanu majú v porovnaní s predchádzajúcimi generáciami ešte vyššiu odolnosť proti opotrebeniu a vydrolovaniu, čo umožnilo rozšírenie aplikačných oblastí do takmer všetkých operácií.

Tab.2.3 rozdelenie cermetov⁹

Trieda	Keramika	Kovová prísada
Oxidy	Al ₂ O ₃	Al, Be, Co, Co-Cr, Fe
	Cr ₂ O ₃	Cr
	MgO	Al, Be, Co, Fe, Mg
	SiO ₂	Cr, Si
	ZrO ₂	Zr
	UO ₂	Zr, Al
Karbidy	SiC	Ag, Si, Co, Cr
	TiC	Mo, W, Fe, Ni, Co
	WC	Co
	Cr ₃ C ₂	Ni, Si
Boridy	Cr ₃ B ₂	Ni
	TiB ₂	Fe, Ni, Co
	ZrB ₂	Ni
Silicidy	MoSi ₂	Ni, Co, Pt, Fe, Cr
Nitridy	TiN	Ni

2.4 Výroba cermetov

Obvykle sú používané ako východzie materiály tvrdé binárne zlúčeniny TiC, TiN, Mo₂C, WC a (Ta,Nb)C, dôkladne premiešané s práškami Co alebo Ni, ktoré tvoria pojivovú fázu. Vhodné sú taktiež tuhé roztoky tvrdých zložiek ako Ti(C,N), (Ti,Mo)C, (Ti,W)C, (Ti,Ta,Nb,W)C, alebo komplexné karbonitridové tuhé roztoky obsahujúce jednofázové nitridové a karbidové zložky. Výroba cermetov je veľmi podobná výrobe bežných spekaných karbidov. Cermety sú produktom práškovej metalurgie. Ako východzie materiály sú používané už spomínané binárne tvrdé zlúčeniny (TiC,TiN,...), pojivové prášky na bázi Co, Ni a tuhé roztoky tvrdých zložiek.

V priebehu periódy ohrevu dochádza k niekoľkým metalurgickým reakciám medzi tvrdými zložkami navzájom, i medzi tvrdými zložkami a pojivom. Metalurgické reakcie v tuhom stave zahŕňujú odplynovacie reakcie, difúzne procesy a zmršťovanie práškových výliskov. Pojivové kovy začínajú pri vyšších teplotách metalurgicky reagovať s tvrdými fázami a vytvárajú tekutú fázu výrazne pod bodom tavenia čistých kovov. Kovová tavenina rozpúšťa karbidové zložky a tak začne prebiehať reprecipitačný rozpúšťací mechanizmus. Tieto procesy majú rozhodujúci vplyv na mikroštruktúru cermetov ¹⁶.

Pre výrobu súčasných cermetov na bázi karbonitridu titánu sa najčastejšie používajú metódy ¹⁶:

- Vysokoteplotné lisovanie
- Vysokoteplotné izostatické lisovanie (HIP)
- Spekanie
- Spekanie v kombinácii s HIP

Vlastnosti cermetov je možné riadiť podľa zmien v obsahu jednotlivých základných zložiek. Tvrdosť narastá s rastúcim obsahom TiC a TiN, pokiaľ (Ta,Nb)C zlepšuje rezný výkon pri prerušovanom reze a pri frézovacích aplikáciach.

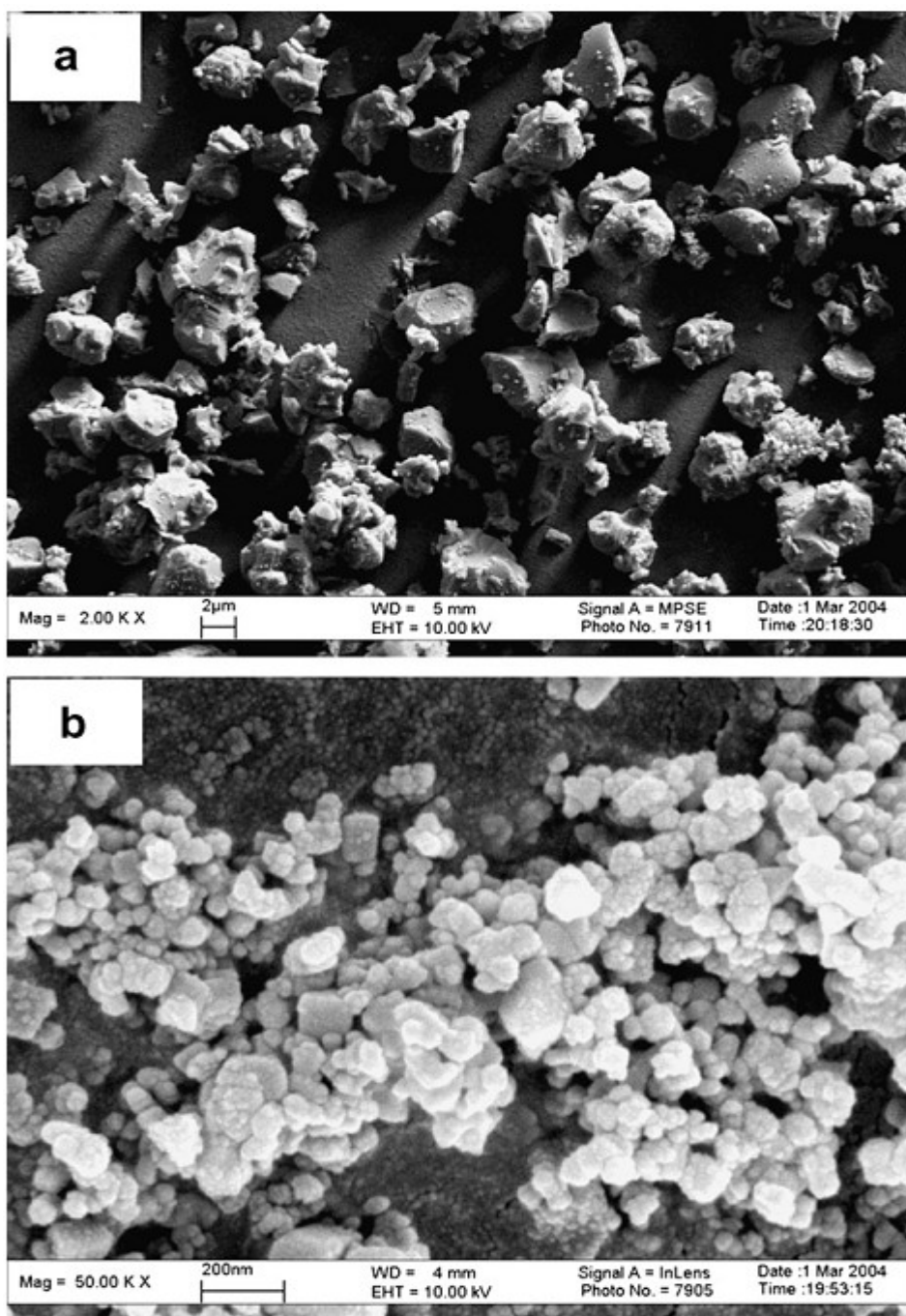
2.4.1 Výroba cermetov na báze Ti(C, N) spekaním

Cermety na báze Ti (C, N) vyvíjané v posledných rokoch sú považované za jedny z najlepších, na trhu bežne dostupných materiálov pre rezné nástroje. Ich vlastnosti sú kombináciou vlastností keramiky a spekaných karbidov. Cermety na báze Ti (C, N) majú komplikovanejšie zloženie a mikroštruktúru než veľká väčšina spekaných karbidov s vyšším obsahom kyslíka O₂ a dusíka N. Taktiež v nich počas spekacieho procesu prebiehajú oveľa komplexnejšie chemické reakcie, ktoré majú priamy vplyv na konečné zloženie, mikroštruktúru a fyzikálno-mechanické vlastnosti ^{10, 11}.

Východzími materiálmi sú prášky TiC, TiN alebo Ti(C,N) (Obr. 2.3). Základným pojivom cermetov je nikel, ku ktorému sa často pridáva kobalt na zníženie rozpustnosti Ti v Ni.

V poslednej dobe sa namiesto kobaltu pridáva značné množstvo chrómu (5÷30 hm.%) na zvýšenie zmáčavosti, húževnatosti, vysokoteplotnej pevnosti a odolnosti proti oxidácii. Hmotnostný pomer sa pohybuje v rozsahu:

$$\text{Ni}/(\text{Ni}+\text{Cr}) = 0,60\div 0,98 \text{ alebo } \text{Cr}/(\text{Ni}+\text{Cr}) = 0,02\div 0,40$$



Obr. 2.3 SEM snímky spekaných práškov (a) mikro TiC, (b) nano TiN ³⁵.

Molybdén je prvkom, ktorý sa výrazne podieľa na spevnení tuhého roztoku niklu, preto sa pridáva do niektorých cermetov na spevnenie pojivovej fázy.

Pevná väzba medzi tvrdými časticami a pojivom je základným predpokladom pre výrobu kvalitného cermetu, pretože na tejto skutočnosti do značnej miery závisí spekateľnosť materiálu a konečné vlastnosti spekaného telesa. Dobré spojenie nastane v prípade, keď v priebehu spekania za prítomnosti tekutej fázy dochádza k rozpusteniu tvrdej fázy v pojive. Zlepšenie zmáčavosti je možné dosiahnuť v prípadoch, keď prevláda absorpcia atómov na styčných plochách alebo ak existuje difúzny gradient na rozhraní tekutej a tuhej fázy.

Z karbidov používaných na výrobu spekaných karbidov a cermetov vykazuje najnižšiu absolútnu hodnotu skupenského tepla karbid molybdénu - Mo_2C . Podstatne zlepšuje zmáčavosť a spekateľnosť a preto je neoddeliteľnou zložkou všetkých bežných cermetov. V typickej mikroštruktúre cermetu na báze karbonitridu sú zrná $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ obalené vonkajším plášťom obohateným o karbid molybdénu.

Veľkosť zrna tvrdej fázy cermetu závisí od doby spekania, exponenciálne rastie s narastajúcim časom. Aby bolo zaistené spekanie za prítomnosti tekutej fázy, musí sa spekacia teplota cermetov na bázi karbonitridu titánu pohybovať v rozsahu $400\div 1600\text{ }^\circ\text{C}$, v závislosti na kinetike spekania a požadovanej výslednej mikroštruktúre. Doba spekania je krátka, aby sa zabránilo zhrubnutiu zrna tvrdej fázy, ktoré by viedlo k zhoršeniu mechanických vlastností.

Cermety na báze $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ majú tendenciu rozkladať sa pri procese výroby, kedy sa dusík uvoľňuje vo forme bublín v dôsledku reakcie medzi karbonitridom a pojivovým kovom. Tento proces sa nazýva denitrifikácia (ochodobnenie o dusík). Denitrifikácia tiež zvyšuje teplotu likvidu, čo znamená, že pri konštantnej spekacej teplote klesá množstvo roztaveného materiálu. Konečným výsledkom je zhoršenie schopnosti spekania a zníženie pevnosti. Zvýšením obsahu dusíku v cermetoch na bázi $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$ sa zvyšuje intenzita denitrifikácie. K zaisteniu spekateľnosti je nevyhnuté pridať do materiálu veľké množstvo molybdénu, čo sa nepriaznivo odrazí v zhoršení obrobitelnosti spekaného telesa ¹⁶.

Metóda PSSS (Pre-Sintering Solid-Solution, americký patent 4769070)

Je metóda prípravy tuhého roztoku požadovaného karbonitridu pred vlastným spekaním cermetového telesa. Je efektívnou metódou, ktorá znižuje potrebné množstvo molybdénu a súčasne zachováva vysoký obsah dusíku. Produktom PSSS je tuhý roztok karbonitridu, ktorý je pripravovaný pri vyššej teplote ako je spekacia teplota budúceho cermetu. Získaný materiál je mletím rozdrvený na jemný prášok, do ktorého sa pridávajú pred spekaním prášky kobaltu a niklu (funkcia pojiva).

Pri využití PSSS metódy sú dané kovy viazané v tuhom roztoku karbonitridu (Ta , W , Ti , atď.), (C,N) . Nízka rozpustnosť dusíku v roztavenom Ni alebo Co spôsobuje, že sú procesy rozpúšťania a precipitácie tvrdej fázy potlačené, v dôsledku čoho nedochádza k zhrubnutiu zrna. Tým je eliminovaná potreba prísady molybdénu. Táto technológia prináša vysokú pevnosť, húževnatosť a odolnosť proti opotrebovaniu, pri súčasnom zachovaní dobrej obrobitelnosti spekaného telesa ^{10, 11, 16}.

3. Cermety v sortimente výroby najvýznamnejších svetových producentov nástrojov a nástrojových materiálov

Výrobcovia rezných materiálov sú väčšinou aj výrobcovia rezných nástrojov (CeramTec, Mitsubishi Materials). Ako už bolo spomenuté, cermety sú vhodné najmä na dokončovacie operácie a preto je venovaná pozornosť aj výrobcom špecializujúcim sa na toto odvetvie obrábania. Cermety svojimi mechanicko-fyzikálnymi vlastnosťami vynikajú hlavne vo vystružovaní. Firma Mapal je popredným špecialistom vo vystružovaní a dokončovacích operáciách.

3.1 CeramTec

CeramTec je svetová jednotka v oblasti špičkových keramických materiálov a technológie výroby týchto materiálov pre použitie v širokej škále aplikácií. Súčasné portfólio firmy zahŕňa viac ako 10 000 rôznych produktov, komponentov, súčastí a veľký výber keramických materiálov. Sídlo firmy je v meste Plochingen v Nemecku ¹³.



3.1.1 Cermety v sortimente firmy CeramTec:

SC 8015 - je označenie skupiny cermetov s viacvrstvom povlakom TiN-TiCN-Al₂O₃. Táto skupina sa vyznačuje vysokou odolnosťou proti opotrebeniu pri veľmi vysokých rezných rýchlostiach. Vynikajúca odolnosť proti vydroľovaniu umožňuje jemné dokončovacie práce na oceli a šedej liatine. Spôsob použitia je na Obr. 3.1 ¹³.

SC 7035 - je označenie skupiny cermetov s povlakom TiAlN, ktoré sú použiteľné pre jemné sústruženie a aj hrubé dokončovacie práce. Najčastejšie sa používajú na obrábanie kalených a následne popustených ocelí. Použiteľné sú aj na obrábanie nerezových ocelí a liatin. Spôsob použitia je na Obr. 3.1.

SC 7015 - je označenie skupiny cermetov s povlakom Al₂O₃. Sú používané hlavne na jemné sústruženie a hrubovanie liatin a ocelí pri vysokých rezných rýchlostiach. Tiež sú vhodné na frézovanie tvárnej liatiny a ocele pri vyšších rezných rýchlostiach. Spôsob použitia je na Obr. 3.1 a 3.2.

SC 15 - do tejto skupiny patria cermety vhodné na jemné sústruženie ocele a nerezovej ocele. Spôsob použitia je na Obr. 3.1.

SC 35 - táto skupina zahŕňa cermety vhodné na sústruženie ocele a nerezovej ocele. Dostupná je veľká škála rôznych tvarov (geometrie) britových doštičiek. Spôsob použitia je na Obr. 3.1 a 3.3.

SC 40 - v tejto skupine sú cermety vhodné na drážkovanie ocele a liatiny. Spôsob použitia je na Obr. 3.1 a 3.3.

SC 60 - patria sme cermety určené pre frézovanie, presnejšie, ľahké až stredné hrubovanie ocele a tvárnej liatiny. Spôsob použitia je na Obr. 3.2.

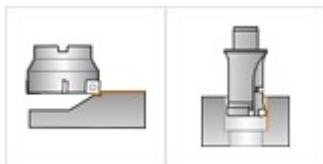
Dosahovaná drsnosť obrábaného materiálu a odporúčané rezné podmienky sú v Tab 3.1.

Tabuľka 3.1. Vlastnosti materiálov firmy CeramTec ¹³

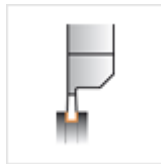
Označenie	Povlak	Rezné podmienky			Drsnosť [μm]		Obrábaný materiál
		v _c [m/min]	f [mm]	a _p [mm]	dokončovanie	hrubovanie	
SC 8015	TiN-TiCN-Al ₂ O ₃	100-500	0,1-0,4	0,2-1	0,8-1,6	6,3	šedá liatina
		100-550		0,1-1			oceľ
SC 7035	TiAlN	100-500	0,1-0,32	0,1-1,5			kalená a popustená oceľ
SC 7015	Al ₂ O ₃	300-500	0,1-0,5	0,25-1		3,2	šedá liatina
		100-550					oceľ
SC 15		100-450	0,1-0,4	0,1-1,5			oceľ a nerez
SC 35		100-500	0,1-0,5	0,1-2			
SC 40				0,1-0,35	0,1-0,5		1,6
SC 60		600-1800	0,1-0,7	0,25-4		6,3-12,5	



Obr. 3.1 a) vonkajšie, b) vnútorné obrábanie ¹³



Obr. 3.2 a) frézovanie, b) vŕtanie ¹³



Obr. 3.3 drážkovanie ¹³

3.2 Mitsubishi Materials

Firma Mitsubishi vznikla v roku 1870 ako lodná prepravná spoločnosť v Japonsku. Postupne sa oblasti pôsobenia tejto firmy rozšírili do viacerých priemyselných odvetví. Po 2. sv. vojne sa z jednej firmy stalo viacero spoločností, ktoré pôsobia v jednotlivých priemyselných odvetviach samostatne avšak pod jednotnou značkou Mitsubishi (Motors,

Electric, Automation,...). Jednotlivé spoločnosti medzi sebou spolupracovali a často úspech jednej mal za následok aj úspech druhej podspoločnosti. V praxi to znamená, že pokrok v oblasti materiálového inžinierstva umožnil úspech aj ostatným spoločnostiam ¹⁴.

V súčasnosti ponúkajú dva druhy cermetov, ktoré svojou kvalitou a vlastnosťami prevyšujú produkty viacerých konkurenčných firiem. Logo firmy Mitsubishi Materials je na Obr. 3.4.



3.2.1 Cermety v sortimente firmy Mitsubishi Materials

NX2525 – tento typ cermetu má vynikajúcu odolnosť proti vysokým teplotám, je termicky stály a veľmi odolný proti oxidácii. Tepelná stabilita a odolnosť voči oxidácii umožňuje vysokorýchlostné obrábanie, pri vytváraní vynikajúcej drsnosti povrchu. Titanový základ spolu so špeciálnym pojivom vytvára vynikajúcu odolnosť proti opotrebovaniu.

Používa sa na dokončovacie operácie uhlíkovej ocele a zliatinových ocelí. Hlavne pre operácie s vyššími obvodovými rýchlosťami. Je vhodný pre suché obrábanie (bez chladiacej kvapaliny) ^{14, 21}.

NX3035 – tento typ cermetu má zvýšenú odolnosť proti tepelným trhlinám voči typu NX2525. Taktiež má vyššiu odolnosť proti vydrolovaniu, pričom je zachovaná jemná drsnosť obrábaného povrchu hlavne v dokončovacích operáciách.

Použitie mechanické vlastnosti a použitie sú v Tab. 3.2 a Tab. 3.3.

Tab. 3.2 Použitie cermetových nástrojov firmy Mitsubishi Materials ^{14, 21}.

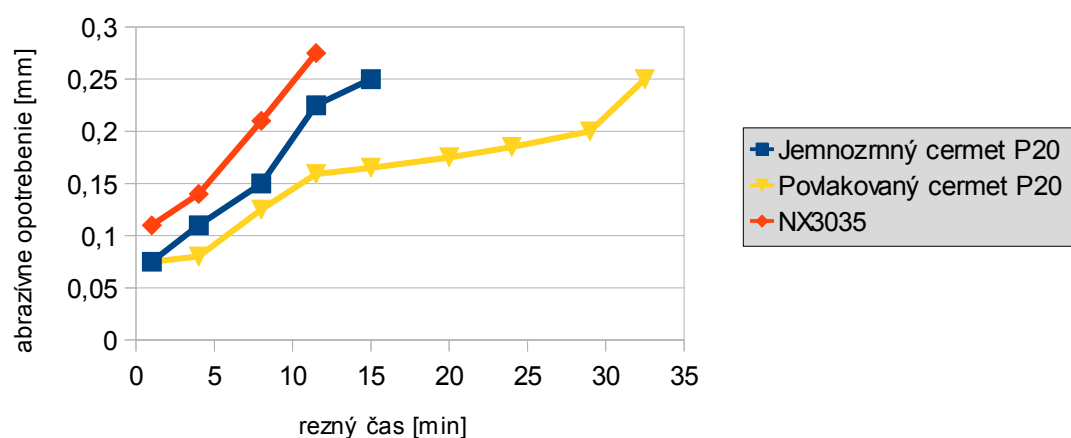
Obrábaný materiál		Spôsob obrábania	Vhodný druh cermetu	Odporúčaná rezná rýchlosť [m/min]	ISO
P	Oceľ	Súvislé obrábanie	NX2525	250 (200-280)	P01
					P10
		Prerušované obrábanie	NX3035	230 (190-260)	P20
K	Liatina a tvárna liatina	Dokončovanie	NX2525	210 (170-230)	K01
					K10
					K20

Tab. 3.3 Mechanické vlastnosti cermetových nástrojov firmy Mitsubishi Materials ^{14, 21}.

Druh cermetu	Vlastnosti			
	Tvrdosť [HRA]	T.R.S [GPa]	Tepelná vodivosť [W/m·K]	Tepelná rozťažnosť [$\times 10^{-6}/K$]
NX2525	92,2	2	33	7,8
NX3035	91,5	2,1	35	7,8

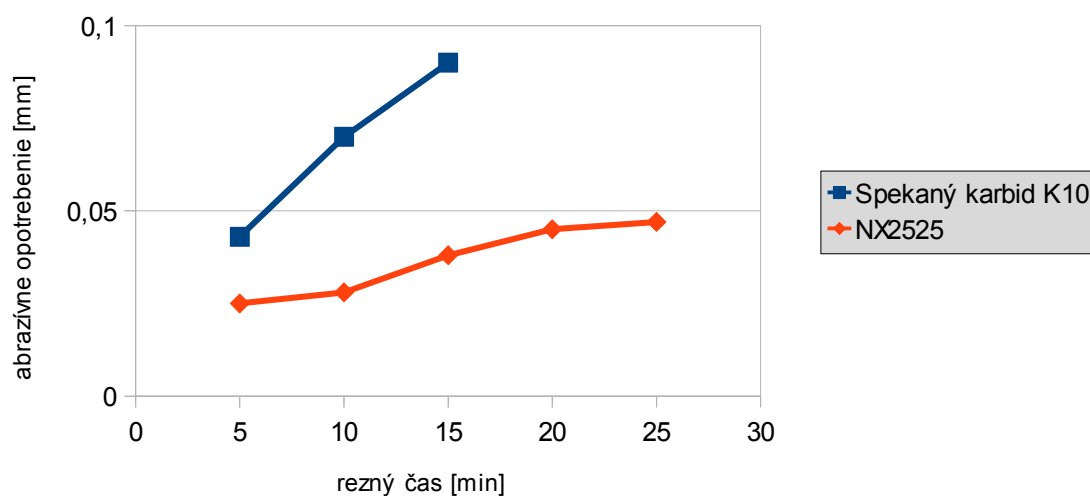
Nástroje z cermetu firmy Mitsubishi Materials majú v porovnaní s bežne používanými nástrojovými materiálmi oveľa vyššiu životnosť. Porovnanie jednotlivých materiálov je uvedené na Graf 3.1 a Graf 3.2 ^{14, 21}.

Súvislé obrábanie ocele s chladením



Graf 3.1 Porovnanie opotrebovania cermetu NX3035 firmy Mitsubishi Materials v závislosti na reznom čase ^{14, 21}.

Súvislé obrábanie liatiny s chladením



Graf 3.2 Porovnanie opotrebovania cermetu NX2525 firmy Mitsubishi Materials v závislosti na reznom čase ^{14, 21}.

3.3 Mapal

Firma MAPAL bola založená v roku 1950 v meste Aalen v Nemecku. Spoločnosť sa spočiatku venovala vrtákom azávitníkom. Po získaní talianskeho patentu (1954) na výstružník s jedným ostrím, boli položené základy vývoja v oblasti obrábania kovov. Zo začiatku princíp výstružníka s jedným ostrím a najmenej dvoma vodiacimi lištami usporiadanými po obvode nefungoval. Až inžinierom z MAPAL sa podarilo správne tento princíp implementovať. Dnes je firma popredným špecialistom na svete v strojovom obrábaní s najvyššou presnosťou a rentabilitou ²⁷.



Obr. 3.6 Logo firmy MAPAL ²⁷

3.3.1 Cermety v sortimente firmy MAPAL ²⁸

Pevné výstružníky, monoblok karbid/cermet

Jednoliatie nástroje umožňujú obrábať takmer všetky materiály. Na základe prispôsobiteľného princípu je možné obrábať taktiež náročne obrobitelné materiály. Použitím výstružníkov 1/100 je možné pokryť rôzne stupne lícovania. Napríklad, rozmer $8,02 + 0,005$ zodpovedá tolerančnému stupňu 8F7 ²⁸.

Spevnené HPC (high performance cutting) výstružníky z cermetu

Rozsah: 4,0 - 40,0 mm

MAPAL priniesol na trh nový dizajn výstružníkov, ktoré umožňujú veľmi vysoké rezné rýchlosti v zmysle HPC, pri zachovaní kvality obrobeného povrchu a vysokých tolerancií. Táto trieda výstružníkov je určená pre širokú škálu operácií doteraz určených len pre honovanie alebo brúsenie. Obrábací proces prebieha pri minimálnom chladení ²⁸.

Rozšíriteľné HPC výstružníky

Rozsah: 8,0 - 40,0 mm

Táto inovácia výstružníkov má veľké uplatnenie v praxi. Tento mechanizmus dokáže absorbovať sily, ktoré vznikajú pri obrábaní v zmysle HPC. Rozsah rozšíriteľnosti od menovitého priemeru je 0,03 mm. Táto rozšíriteľnosť je veľkou výhodou pri opotrebení nástroja. Hranica rozšíriteľnosti závisí na konkrétnom produkte ²⁸.

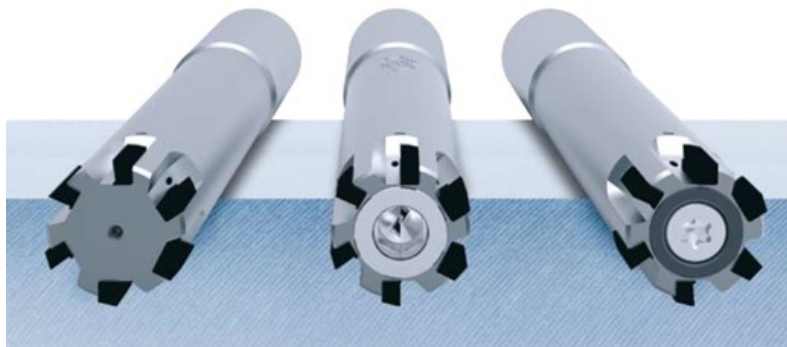
Charakteristika:

Rozširovací mechanizmus má maximum rozšírenia do 0,03 mm. Ak dôjde k prekročeniu tejto hranice je mechanizmus trvale poškodený a znemožňuje správnu funkciu. Otáčaním skrutky v smere hodinových ručičiek sa mechanizmus rozpína. Referenčná hodnota pri otočení o 90° je približne 0,008 až 0,012 mm na priemer ²⁸.

Po prekročení hranice 0,03 mm je prebrusovanie možné len raz. Při dodržaní všetkých pokykov je možné prebrusovať do prekročenia.

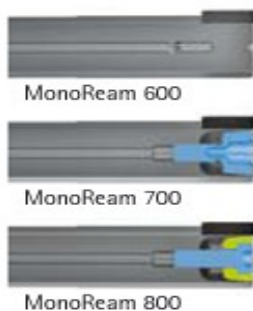
Monolitické výstružníky

Monolity predstavujú kombináciu nových a osvedčených funkcií a vďaka tomu to sú nástroje vhodné pre všetky typy obrábaných materiálov ²⁸.



Obr. 3.7 Monolitické výstružníky firmy MAPAL ²⁸

Monolity predstavujú kombináciu nových a osvedčených funkcií a vďaka tomu to sú nástroje vhodné pre všetky typy obrábaných materiálov. Viacčepelové monolitické výstružníky firmy MAPAL sa používajú hlavne na obrábanie otvorov z ocele a liatiny. Dosahujú vysokú presnosť. Všetky výstružníky v tejto kategórii sú dostupné ako pevné, rozširiteľné a jemne nastaviteľné. Vyrábajú sa aj ako ľavotočivé-pravotočivé a tiež priame ²⁸.



Obr. 3.8 Monolitické výstružníky firmy MAPAL (pohľad v reze) ²⁷

Monolitycký výstružník triedy 800 – jemne nastaviteľný

Špeciálna konštrukcia s nastaviteľnou skrutkou a objímkou dovoľuje maximálne radiálne hádzanie do 3 µm po prestavení.

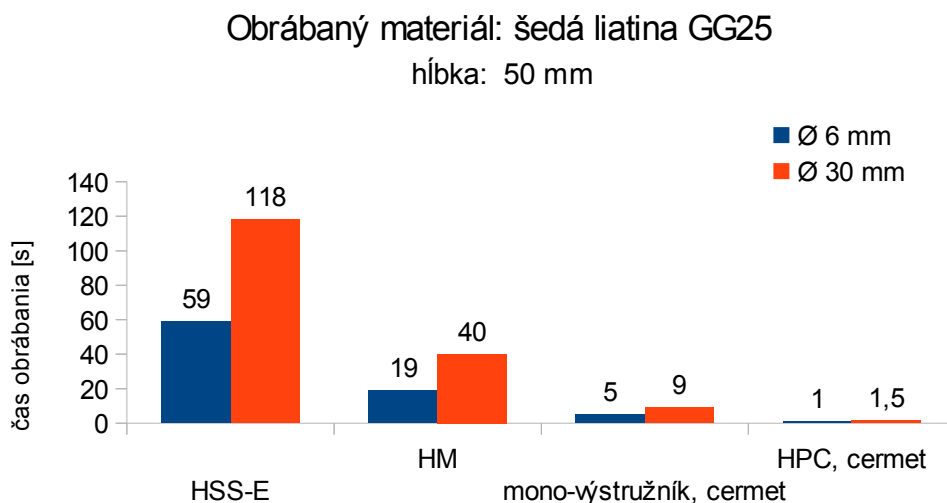
Monolitycký výstružník triedy 700 – rozširiteľný

S rovnakými parametrami a jednoduchším nastavovacím mechanizmom je trieda 700 vhodná na úpravu rozmerov pred jemným brúsením.

Monolitycký výstružník triedy 600 – pevný

Táto trieda výstružníkov neumožňuje nastavovanie priemeru nástroja. Rozsah ponúkaných nástrojov je od 8 mm do 40 mm.

Porovnanie času potrebného na vystruženie otvorov rôznych priemerov rôznymi materiálmi do hĺbky 50 mm je na Grafe 3.3 ²⁸.



Graf 3.3 Porovnanie rezného času ²⁷

3.4 Sandvik Coromant

Švédska spoločnosť Sandvik Coromant má sídlo v meste Sandviken. Je jedným z popredných výrobcov nástrojov z cermetu. Vyrábajú viac ako 25 000 produktov pre sústruženie, frézovanie a vŕtanie.



Obr. 3.9 Logo firmy Sandvik Coromant ³⁶.

Spoločnosť má zastúpenie aj v Českej Republike (v Prahe, SANDVIK CZ s.r.o) a v ďalších 130 krajinách. Dokopy zamestnáva približne 7 500 ľudí.

3.4.1 Cermety v sortimente firmy Sandvik Coromant

Materiály pre sústruženie ³⁶:

- **CT5015** – P10 (P01 – P20), K05 (K01 - K10)

Je to nepovlakovaný cermet s vynikajúcou odolnosťou proti otupeniu britu a plastickej deformácii. Je vhodný na dokončovacie operácie nízkolegovaných, legovaných ocelí a liatiny s vysokými nárokmi na kvalitu obrábaného povrchu.

- **GC1525** - P15 (P05-P25), M10 (M05-M15)

Je to cermet s PVD povlakom s veľmi vysokou odolnosťou proti opotrebeniu a dobrou húževnatosťou. Má tiež dobrú odolnosť proti pozostávaniu materiálu obrobku na reznom kline. Hodí sa na dokončovacie a polodokončovacie operácie nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Vynikajúci pre obrábanie nehrdzavejúcej ocele pri vhodných podmienkach (pomalý posuv a prierez triesky nemôže prekročiť hranicu $0,35 \text{ mm}^2$). Používa sa pri požiadavke kvalitne obrobeného povrchu pri stredných až vysokých rezných rýchlostiach.

Materiály pre frézovanie ³⁷:

- **CT530** - P20 (P05-P30), M20 (M10-M30), N15 (N10-N25), H25 (H10-H25)

Je to cermet pre ľahké freézovacie operácie austenitických, duplexných a nehrdzavejúcich ocelí. Nepotrebuje chladenie. Vysoká odolnosť proti plastickej deformácii, pozostávaniu materiálu obrobku na reznom kline z neho robí cermet vhodný pre široký rozsah rezných rýchlostí. Ideálna trieda pre hladiace VBD. Doporučuje sa používať na obrábanie hliníku pri vysokých rezných rýchlostiach. Používa sa aj na dokončovanie kalenej ocele pri nízkych až stredných rezných rýchlostiach.

Materiály pre upichovanie a zapichovanie ³⁸:

- **CT525** - P10 (P01-P15), M10 (M05-M15)

Je to cermet na bázi titánu s vynikajúcou odolnosťou proti oxidácii a pozostávaniu materiálu obrobku na reznom kline. Vhodný na obrábanie nízkolegovaných, legovaných a nehrdzavejúcich ocelí pri strednej reznej rýchlosti a strednom posuve.

Záver

Cermety su kovokeramické materiály, ktoré v čase ich vzniku nenachádzali príliš veľké uplatnenie na trhu s nástrojovými materiálmi v USA a ani v Európe. Vo svojich začiatkoch nespĺňali pôvodné očakávania vhodnej kombinácie húževnatosti kovu a tvrdosti keramiky. Obe tieto vlastnosti boli nedostačujúce, aby cermety mohli nahradiť už veľmi rozšírené spekané karbidy a lacnejšie nástrojové ocele. Dostupnosť kovov potrebných k výrobe spekaných karbidov ako v tej dobe najkvalitnejších nástrojových materiálov však ovplyvnil záujem o cermety v Japonsku, kde sa cermety stali uznávaným nástrojovým materiálom, pretože neobsahujú wolfram a ani kobalt. V Japonsku to boli ťažko dostupné kovy. Vývoj cermetov teda prebiehal až do dnešnej doby hlavne v Japonsku.

Úspešný vývoj a rozsah použitia cermetov v Japonsku po čase vzbudili záujem o ich zdokonaľovanie aj v Európe a v USA. Hlavné ciele v ich zdokonaľovaní sa opierajú na zvýšení odolnosti proti vydrolovaniu a pevnosti. V súčasnosti je na trhu približne tretina cermetov z Japonska.

Cermety sú na trhu dostupné hlavne vo forme polotovarov a vymeniteľných britových doštičiek. Spracovanie polotovarov z cermetu je náročné a venujú sa mu len špecializované firmy, preto tento sortiment nie je veľmi veľký a rozšírený. Naopak vymeniteľné britové doštičky sú rozšírené už dlhú dobu aj vďaka spekaným karbidom. Zdokonaľovanie konštrukcie vymeniteľných britových doštičiek u výrobcov malo tiež zásluhu na rozšírení cermetov. Cermety sa osvedčili ako vynikajúci rezný materiál, ktorý sa hodí na obrábanie veľmi vysokými reznými rýchlosťami, pretože sú termochemicky stabilnejšie ako spekané karbidy. Kvalita obrobeného povrchu dosahuje vysokú presnosť a kvalitu. Z týchto dôvodov sa cermety hodia predovšetkým na dokončovacie operácie.

Sortiment firiem, ktoré sú spomínané v tejto práci patrí k tým najnovším a najmodernejším na trhu s cermetmi. Firmy Mitsubishi Materials a CeramTec sa zaoberajú výrobou cermetov pre rezné nástroje ale aj samotnou výrobou nástrojov (VBD).

Sandvik Coromant je na trhu veľmi populárna spoločnosť s kvalitným sortimentom ponúkaných produktov a dobrou tradíciou aj v Českej Republike. Jej sortiment je okrem jemných dokončovacích operácií rozšírený aj pre sústruženie, frézovanie a vŕtanie.

Najväčšie uplatnenie majú cermety v dokončovacích operáciách a to v najväčšej miere vo vystružovaní. Touto oblasťou dokončovacích operácií sa vo zvýšenej miere zaoberá nemecká firma MAPAL. Jej monolitické výstružníky sa vyznačujú obrovským rozsahom použitia na rôzne ťažko obrobitelné materiály.

Zoznam použitých zdrojov:

1. KERAMIKA,ČR. [online], [vid'. 24.januára 2012]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf>
2. SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA, Bratislava, SR. *Nástroje a prípravky*, [online], [vid'. 25.januára 2012]. Dostupné z: [http://www.kvt.sjf.stuba.sk/WEB/1%20uvod%20\(nastroje\).pdf](http://www.kvt.sjf.stuba.sk/WEB/1%20uvod%20(nastroje).pdf)
3. SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS, Dearborn, MI, USA. *Cutting tool materials*, [online], [vid'. 25.januára 2012]. Dostupné z: <http://mfg.eng.rpi.edu/gmp/pdf/toolmaterials.pdf>
4. TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH, Košice, SR. *Technológia obrábania montáže*, [online], [vid'. 25.januára 2012]. Dostupné z: <http://www.sjf.tuke.sk/ktam/stiahnut/TOaM/TOaM.pdf>
5. STROJÁRSKA TECHNOLOGIA, SR. *Materiály pre rezné nástroje – rozdelenie a stručná charakteristika z pohľadu použitia*, [online], [vid'. 25.januára 2012]. Dostupné z: <http://www.strojarskatechnologia.info/29-materialy-pre-rezne-nastroje---rozdelenie-a-strucna-charakteristika-z-pohladu-pouzitia/>
6. BOHLER-UNDEHOLM, Slovakia, s.r.o., Martin, SR. *Rýchlореzné ocele*, [online], [vid'. 26.januára 2012]. Dostupné z: http://www.uddeholm.sk/slovak/files/Vanadis_23.pdf
7. METAL 2012, Brno, ČR. *Vplyv povlakovania na zvýšenie rezných vlastností materiálu S 590*, [online], [vid'. 26. januára 2012]. Dostupné z: http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal_07/Lists/Papers/171.pdf
8. MM PRŮMYSL OVÉ SPEKTRUM, Praha, ČR. *Povlakování nástrojů metodou PACVD*, [online], [vid'. 26. januára 2012]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/povlakovani-nastroju-metodou-pacvd.html>
9. WHAT-WHEN-HOW. *Cermets*, [online], [vid'. 2.apríla 2012]. Dostupné z: <http://what-when-how.com/materialsparts-and-finishes/cermets/>
10. ENVIROMENTAL SCIENCE DIVISION, USA. *Methods to Manufacture Cermets*, [online], [vid'. 13.apríla 2012]. Dostupné z: <http://web.ead.anl.gov/uranium/uses/repository/wastepack/cermetmethod.cfm>
11. OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, Oak Ridge, TN, USA. [online], [vid'. 16.apríla 2012]. Dostupné z: http://gsearch.ornl.gov/search?q=cermets&site=default_collection&client=ornl_frontend&output=xml_no_dtd&proxystylesheet=ornl_frontend
12. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava, ČR. *Nekonvenční metody tváření*, [online], [vid'. 18.apríla 2012]. Dostupné z: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruselka/Texty/NEKONVENCNI.pdf>

13. CERAMTEC, GmbH, DE. *Cutting Material Grades and Applications in Machining*, [online], [vid'. 14. mája 2012]. Dostupné z: <http://www.ceramtec.com/spk-cutting-materials/>
14. MITSUBISHI MATERIALS, UK. *Cermet*, [online], [vid'. 15. mája 2012]. Dostupné z: http://www.mitsubishicarbide.net/contents/mhg/enuk/html/product/technical_information/grade/turning/cermet.html
15. MEDIA/ST, s.r.o., Žilina, SR. *Stav a smery vývoja povlakov na nástrojích*, [online], [vid'. 14. marca 2013]. Dostupné z: <http://www.strojarsstvo.sk/inc/index.php?ln=sk&tl=3&tpl=archiv.php&ids=2&cislo=7-8/2001&idclan=303>
16. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Brno, ČR. *Materiály pro řezné nástroje*, [online], [vid'. 14. marca 2013]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
17. MEDIA/ST, s.r.o., Žilina, SR. *Vývojové smery v technológii obrábania*, [online], [vid'. 20. marca 2013]. Dostupné z: <http://www.strojarsstvo.sk/inc/casopis/022006/76.pdf>
18. STAPPERT SLOVENSKO, a.s., Nováky, SR. *Základné vlastnosti a použitie*, [online], [vid'. 4. apríla 2013]. Dostupné z: <http://www.kupa.sk/inc/TOOL/1.3243.pdf>
19. TRENČIANSKA UNIVERZITA ALEXANDRA DUBČEKA V TRENČÍNE, Púchov, SR. *Nástrojové ocele. Nástrojové materiály – spekané karbidy a keramické materiály*, [online], [vid'. 23. apríla 2013]. Dostupné z: http://www.fpt.tnuni.sk/kfim/predmety/rocnik1/nauka_o_materiali/pdf/nastrojove_ocene.pdf
20. TECHNOMAT, ČR. *Řezné nástroje*, [online], [vid'. 4. mája 2013]. Dostupné z: http://www.techno-mat.cz/data/katedry/kom/KOM_RN_PR_06_CZE_Popop-Jersak_Mineralokeramice_a_supertvrde_materialy.pdf
21. MITSUBISHI MATERIALS, UK. *Tool News, New Cermet Grade for Turning NX3035*, [online], [vid'. 7. mája 2013]. Dostupné z: <http://www.mitsubishicarbide.com/mmus/catalog/pdf/b/b092a.pdf>
22. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI, Liberec, ČR. *Metody vytváření tenkých vrstev*, [online], [vid'. 8. mája 2013]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/VTM/vtm%20Dad/13metody%20na%20vrstvy.pdf
23. VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE, Praha, ČR. *Technologie a vlastnosti tenkých vrstev, tenkovrstvé senzory*, [online], [vid'. 15. mája 2013]. Dostupné z: http://fchi.vscht.cz/uploads/pedagogika/nano/predmety/senzory/05_TechnologieCVD%20PVD_PECVD_MOVPE_MBE.pdf

24. SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA, Trnava, SR. *Nástrojové materiály*, [online], [vid'. 16. mája 2013]. Dostupné z: <http://www.mtfdca.szm.com/subory/nastroj-mat.pdf>
25. BOLZANO BOHDAN, s.r.o., Kladno, ČR. *Rychlořezné nástrojové oceli*, [online], [vid'. 17. mája 2013]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/assets/files/Rychlořezky.pdf>
26. BOLZANO BOHDAN, s.r.o., Kladno, ČR. *Legovaná nástrojová ocel VC 800*, [online], [vid'. 17. mája 2013]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/assets/files/VC800.pdf>
27. MAPAL Dr. Kress KG, Aalen, DE. *Skupina MAPAL - trvalý rast zásluhou vysokej modernizácie a podnikateľskej predvídavosti*, [online], [vid'. 20. mája 2013]. Dostupné z: <http://www.mapal.com/sk/spolocnost/historia/>
28. MAPAL Dr. Kress KG, Aalen, DE. *Výrobné skupiny*. [online], [vid'. 20. mája 2013]. Dostupné z: <http://www.mapal.com/sk/vyrobky/vyrobkove-skupiny/>
29. KŘÍŽ, A., et al. *Prášková metalurgie*, [online], [vid'. 22. mája 2013]. Dostupné z: http://ateam.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf
30. LENGAUER, W., DREYER, K. Functionally graded hardmetals. *Journal of Alloys and Compounds*, 2002, vol. 338, iss. 1-2, s. 194-212, ISSN 0925-8388.
31. QIU-PING, W., et al. Fretting wear and electrochemical corrosion of well-adhered CVD diamond films deposited on steel substrates with a WC-Co interlayer. *Diamond and Related Materials*, 2010, vol. 19, iss. 10, s. 1144-1152, ISSN 0925-9635.
32. HAM, B., ZHANG, X. High strength Mg/Nb nanolayer composites. *Materials Science and Engineering: A*, 2011, vol. 528, iss. 4-5, s. 2028-2033, ISSN 0921-5093.
33. HUMÁR, A. Strojírenská technologie I : Technologie obrábění – 1. část. *Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění* [online]. 2006 [vid'. 23. mája 2013], s. 1-138. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
34. KIM, J.W., AHN, S.Y., KANG, S. Effect of the complete solid-solution phase on the microstructure of Ti(CN)-based cermet. *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 2008, s. 5.
35. Xiaobo Zhang, Ning Liu. Microstructure, mechanical properties and thermal shock resistance of nano-TiN modified TiC-based cermets with different binders. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 2008, s. 575–582
36. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. . Všeobecné soustružení [online]. 2009 [vid'. 23. mája 2013]. Dostupný z: http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_A.pdf

37. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. . Frézování [online]. 2009 [vid'. 23. mája 2013]. Dostupný z:
http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_D.pdf

38. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. . Upichování a zapichování [online]. 2009 [vid'. 23. mája 2013]. Dostupný z:
http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_B.pdf

Zoznam použitých symbolov a skratiek

HRC	tvrdosť podľa Rockwella (1500 N kužel)
HRA	tvrdosť podľa Rockwella (600 N kužel)
CVD	chemical vapour deposition (chemické naparovanie)
PVD	physical vapour deposition (fyzikálne naparovanie)
PACVD	plasma assisted chemical vapour deposition
PECVD	plasma enhanced chemical vapour deposition (chemické naparovanie za pomoci plazmy)
HIP	hot isostatic pressing (izostatické lisovanie za tepla)
PKD	polykryštalický diamant
PKNB	polykryštalický kubický nitrid bóru
SEM	scanning electron microscopy (rastrovací elektrónová mikroskopia)
T.R.S	transverse rupture strength (pevnosť v ohybe)
HPC	high performance cutting (vysoko výkonové rezanie)
SK	spekaný karbid
PSSS	pre-sintering solid solution (predspekanie tuhého roztoku)